Applied Engineering, Innovation, and Technology
Research article

Analisa Sistem Kerja Sensor Encoder dan Sensor Load Cell pada Pengemasan Semen di PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu

Yanolanda Suzantry H.*, Warnisa Gulo, Irnanda Priyadi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Indonesia
*Correspondence: yanolanda@unib.ac.id

https://doi.org/10.62777/aeit.v1i1.9

Received: 26 April 2024
Revised: 25 May 2024
Accepted: 27 May 2024
Published: 29 May 2024

Abstrak: Proses pengemasan semen PCC di PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu menggunakan alat bernama *Rotary Packer* 8 SRC. Alat ini memiliki kemampuan untuk mengemas 8 kantong semen secara simultan. Sensor *encoder* digunakan dalam *rotary packer* untuk memantau proses pemutaran, serta sudut posisi atau putaran selama pengemasan semen. Jenis sensor *encoder* yang digunakan adalah jenis inkremental, yang merupakan jenis *rotary encoder* yang dapat mengukur perubahan sudut. Rotary Packer 8 SRC juga dilengkapi dengan *load cell* untuk mengukur berat timbangan dari setiap kantong yang diisi. *Load cell* yang digunakan adalah jenis *Bending Beam* dengan tipe Z6FC3 yang diproduksi oleh HBM, dengan kapasitas pengukuran hingga 500 Kg. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kerja sensor *encoder* dan *load cell* pada sistem pengemasan semen. Kinerja kedua sensor dianalisis dengan membandingkan hasil pengukuran dengan batas toleransi 5% yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai posisi sudut *discharge bag* tertinggi tercatat pada posisi 317º dengan nilai *error* sebesar 1,6% pada sensor *encoder.* Nilai timbangan tertinggi adalah 50,50 kg atau terdapat *error* 1% pada sensor *load cell*. Nilai *error* pada kedua sensor tersebut tidak melebihi batas toleransi yang telah ditetapkan sehingga disimpulkan kedua sensor masih berfungsi dengan baik.

Kata Kunci: *Encoder*, *load cell*, pengemasan, *rotary packer.*

1. Pendahuluan

Otomatisasi dalam industri merupakan faktor penting dalam mengurangi waktu produksi dan meningkatkan jaminan kualitas produk. Saat ini, peralihan ke mesin otomatis sudah menjadi tren yang umum, dengan banyak industri mengadopsi sistem *full automatic*. Instrumentasi dalam industri digunakan untuk pengukuran kontinu, mulai dari sistem analog (konvensional) hingga digital yang menawarkan akurasi lebih tinggi secara otomatis. Oleh karena itu, bidang kontrol dan instrumentasi memegang peran penting dalam memenuhi kebutuhan otomatisasi industri [1].

PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu adalah produsen semen merah putih yang telah beroperasi sejak tahun 2011. Proses produksi semen di PT. Cemindo Gemilang Bengkulu melibatkan tahap dari bahan setengah jadi hingga proses pengepakan dan

pendistribusian. Dengan kapasitas produksi hingga 220.000 ton per tahun, perusahaan ini fokus dalam pendistribusian di provinsi Bengkulu, Sumatra Selatan, dan sekitarnya. Produk semen yang dihasilkan adalah semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan semen PCC (*Portland Composite Cement*) [2].

Rotary Packer adalah mesin pengantongan semen dengan 8 stasiun pengisian. Setiap stasiun pengisian mengoperasikan roda turbin untuk mengalirkan semen ke dalam kantong, dilengkapi dengan sistem penimbangan yang dirancang khusus untuk mengisi kantong dengan berat total 50 kg. Pengisian kantong dapat dilakukan secara manual oleh operator atau dengan bantuan pengatur kantong otomatis. *Rotary Packer* dilengkapi dengan beberapa sensor untuk mendukung proses pengisian semen [3].

Encoder adalah alat yang mengubah gerak mekanis menjadi sinyal listrik, sehingga pada dasarnya *encoder* merupakan sensor gerak. *Encoder* dapat digunakan untuk mengukur panjang, posisi, kecepatan, atau posisi sudut. Dengan demikian, *encoder* berfungsi sebagai sensor posisi sudut yang menghasilkan sinyal listrik yang merepresentasikan gerak, yang kemudian dapat digunakan untuk mengendalikan suatu peristiwa [4], [5].

Encoder inkremental merupakan jenis *encoder* yang menggunakan cakram melingkar, poros berputar, dan lampu atau magnet permanen untuk menghasilkan sinyal keluaran berupa digital atau pulsa. *Rotary encoder* bekerja dengan memposisikan cakram berputar melingkar di antara lampu tetap dan transduser, atau magnet permanen. *Incremental encoder* terdiri dari *double track* atau *single track* dengan dua sensor yang disebut *channel* A dan B. Saat poros berputar, deretan pulsa akan muncul di setiap channel dengan frekuensi yang proporsional terhadap kecepatan putaran. Hubungan fasa antara *channel* A dan B menghasilkan arah putaran. Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan, putaran dapat diukur [4].

Load cell merupakan perangkat elektromekanis yang umumnya disebut sebagai transduser. Sensor *load cell* adalah jenis sensor yang berfungsi mengubah ukuran beban menjadi tegangan listrik. Perubahan tegangan ini tergantung pada besarnya tekanan yang diberikan pada *load cell*. Di dalam sensor *load cell* terdapat komponen bernama *Strain Gauge*, sebuah komponen elektronika yang bertugas mengukur tekanan [6], [7], [8]. Saat beban diterapkan pada inti besi dari *load cell*, resistansi pada *strain gauge* mengalami perubahan. *Strain gauge* yang mengalami tekanan (T) akan meningkatkan resistansinya, sementara yang mengalami kompresi (C) akan mengurangi resistansinya. Ketidakseimbangan ini menyebabkan jembatan *wheatstone*, yang merupakan komponen dalam *load cell*, menghasilkan perbedaan tegangan (sinyal) yang sebanding dengan beban pada *load cell*, yang dapat diukur pada titik A dan B [9], [10].

Proses pembuatan semen di PT. Cemindo Gemilang Mini Grinding Plant Bengkulu terbagi menjadi dua tahap: produksi (*mill*) dan pengemasan (*packing*). Tahap produksi melibatkan penggunaan *Tube Mill Horizontal* sebagai mesin utama untuk menggiling bahan material kasar menjadi halus, dengan kapasitas produksi hingga 30 ton/jam. Setelah proses produksi selesai, semen disimpan dalam silo 1 dan silo 2. Untuk menghasilkan semen jenis PCC, semen dari silo 1 dikirimkan ke *bin packer* dan akhirnya ke *rotary packer*. Pada *rotary packer*, semen dikemas dalam kantong berat 40 kg dan 50 kg, dengan *rotary packer* berputar sesuai dengan stasiun pengisian yang telah ditentukan. Oleh karena itu, sensor *encoder* dan sensor *load cell* diperlukan untuk memastikan akurasi posisi sudut dan berat semen pada setiap stasiun pengisian. Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kerja sensor *encoder* dan sensor *load cell* pada pengemasan semen di *rotary packer* PT Cemindo Gemilang Plant

Bengkulu. Tujuan penelitian meliputi pemahaman prinsip kerja sensor, aplikasi praktis sensor, dan analisis hasil pengukuran secara manual pada sensor.

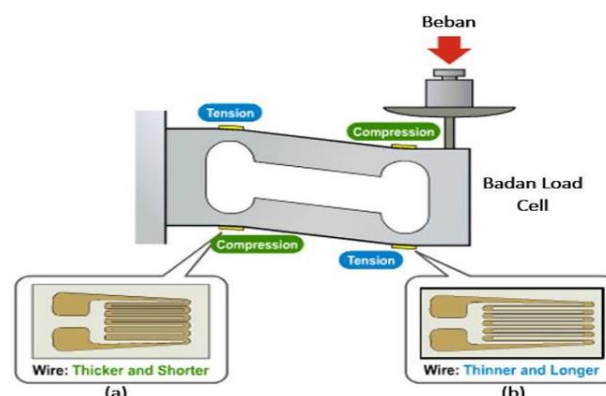
2. Metodologi

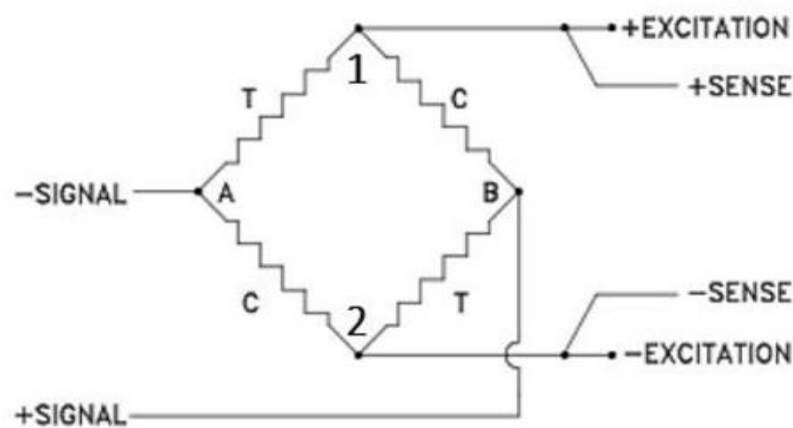
Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap parameter data yang diperoleh dari proses pengemasan semen menggunakan *rotary packer*. Pengambilan data dilakukan secara langsung melalui *Human Machine Interface* (HMI), yang memungkinkan untuk memantau data pengukuran berat dan posisi *discharge bag*. Setiap data yang diperoleh dari tiap *spout* atau *filling station* akan dicatat untuk selanjutnya dianalisis. Data yang diperoleh dari pengukuran tersebut akan digunakan untuk mengevaluasi nilai *error* pada setiap *spout* yang ada di *rotary packer*. Dengan demikian, akan dapat dianalisis dan diketahui perbandingan antara nilai *setpoint* yang diinginkan dengan nilai data yang sebenarnya pada setiap *spout*. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui apakah sensor *load cell* dan sensor *encoder* masih berfungsi dengan baik atau tidak.

Langkah-langkah analisis akan melibatkan pembandingan antara nilai setpoint yang diatur dengan nilai aktual yang tercatat dari masing-masing *spout*. Perbedaan antara keduanya akan menunjukkan seberapa akurat pengukuran yang dilakukan oleh sensor-sensor tersebut. Jika terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai *setpoint* dan data yang tercatat, maka hal ini dapat mengindikasikan adanya masalah pada sensor *load cell* atau sensor *encoder*. Dengan demikian, analisis parameter data ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja sensor *load cell* dan sensor *encoder* dalam proses pengemasan semen menggunakan *rotary packer*. Hasil analisis ini akan menjadi dasar untuk menentukan apakah perlu dilakukan perbaikan atau kalibrasi pada sensor-sensor tersebut guna memastikan kelancaran proses produksi [11].

PT Cemindo Gemilang Plant Bengkulu menggunakan sensor *load cell* dengan jenis *bending beam*. Selama proses penimbangan, beban memberikan reaksi terhadap elemen logam pada *load cell* yang mengakibatkan perubahan bentuk secara elastis. Gaya yang ditimbulkan oleh regangan ini (positif atau negatif) dikonversikan kedalam sinyal elektrik oleh *strain gauge* (pengukur regangan) yang terpasang pada *spring element*.

Strain gauge merupakan konduktor yang diatur dalam pola zigzag pada permukaan sebuah membrane. Ketika membran tersebut meregang, maka resistansinya akan meningkat. *Strain gauges* biasanya diatur dalam formasi "4 simetris" sehingga membentuk jembatan *wheatstone*. Pada *strain gauge* pembengkokan lempengan logam ke arah bawah akan mengakibatkan regangan pada kedua *gauge* dibagian atas dan memampatkan kedua *gauge* pada bagian bawah. Ketika *gauge* mengalami peregangan, maka nilai resistansinya akan meningkat. Sebaliknya, *gauge* yang mengalami pemampatan nilai resistansinya akan berkurang dari nilai normal. Gambar 1 menunjukkan prinsip kerja *strain gauge*.

Gambar 1. Prinsip kerja *strain gauge*: **(a)** kompresi; **(b)** tekanan.

Load cell bekerja berdasarkan regangan dan tekanan dari *strain gauge*. Ketika beban diterapkan, badan *load cell* mengalami deformasi elastis yang menyebabkan terjadinya kompresi (*compression*) dan tekanan (*tension*) pada *strain gauge* yang terpasang. *Strain gauge* yang berada dalam kondisi terkompresi, kawat *grid* akan mengalami perubahan kondisi menjadi lebih tebal dan lebih pendek [12], [13]. Hal ini dapat dilihat pada gambar 1(a). Sedangkan *strain gauge* yang berada dalam tekanan, kawat *grid* akan lebih tipis dan lebih panjang, sebagaimana yang terlihat pada gambar 1(b). Dari proses kompresi dan tekanan tersebut *strain gauge* akan menghasilkan perubahan tahanan listrik atau resistansi. Untuk mengubah hasil perubahan tahanan *strain gauge* menjadi tegangan yang sebanding dengan beban yang diterapkan, maka digunakan rangkaian jembatan *wheatstone*. Rangkaian dari jembatan *wheatstone* ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Jembatan *wheatstone*.

Penelitian ini memanfaatkan prinsip kerja jembatan *wheatstone* untuk mengukur tegangan *output* (sinyal) dari *load cell*. Pada jembatan *wheatstone*, titik 1 dan 2 digunakan sebagai titik *input* tegangan, sementara titik A dan B digunakan untuk pengukuran tegangan *output*. Ketika beban diterapkan pada *load cell*, *strain gauge* yang terpasang akan mengalami deformasi, mengubah resistansinya sesuai dengan gaya yang diterapkan. *Strain gauge* yang mengalami tekanan (T) akan meningkatkan resistansinya, sedangkan *strain gauge* yang mengalami kompresi (C) akan mengurangi resistansinya. Akibatnya, jembatan *wheatstone* akan menjadi tidak seimbang, menciptakan perbedaan tegangan antara titik A dan B.

Perbedaan tegangan ini, yang proporsional dengan beban yang pada *load cell*, dapat diukur dan direkam untuk analisis lebih lanjut. Dengan demikian, pengukuran sinyal pada titik A dan B memberikan informasi tentang gaya yang diterapkan pada *load cell* dengan menggunakan prinsip jembatan *wheatstone* yang sensitif terhadap perubahan resistansi. Metode ini memungkinkan pengukuran yang akurat dan dapat diandalkan terhadap gaya yang diterapkan pada *load cell* [14].

Pada PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu, sensor *load cell* digunakan dalam proses pengemasan semen, khususnya pada *rotary packer*. *Rotary packer* yang digunakan dilengkapi dengan 8 *spout* pengisian, sehingga dibutuhkan 8 sensor *load cell* untuk mengukur beban pada masing-masing *spout*. Sensor yang digunakan dalam aplikasi ini adalah jenis *bending beam*. Keputusan untuk menggunakan sensor jenis *bending beam* dipilih karena sensor ini memiliki prinsip kerja yang relatif sederhana dan mampu memberikan tingkat ketelitian yang memadai. Penggunaan sensor *bending beam* pada *rotary packer* memungkinkan pengukuran yang akurat terhadap beban yang diterapkan pada setiap *spout* pengisian. Dengan demikian, proses pengemasan semen dapat diawasi

dengan lebih baik, memastikan bahwa setiap kemasan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Selain itu, penggunaan sensor ini juga dapat meningkatkan efisiensi operasional, karena memungkinkan untuk pengawasan yang *real-time* terhadap proses pengemasan.

Tipe *load cell* yang digunakan adalah Z6FC6. Gambaran visual mengenai tipe *load cell* yang digunakan di PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu tersedia pada Gambar 3 di bawah ini. Sementara itu, detail spesifikasi sensor *load cell* dapat diacu pada Tabel 1.

Gambar 3. *Load cell* Z6FC6.

Tabel 1. Spesifikasi sensor *load cell* Z6FC6.

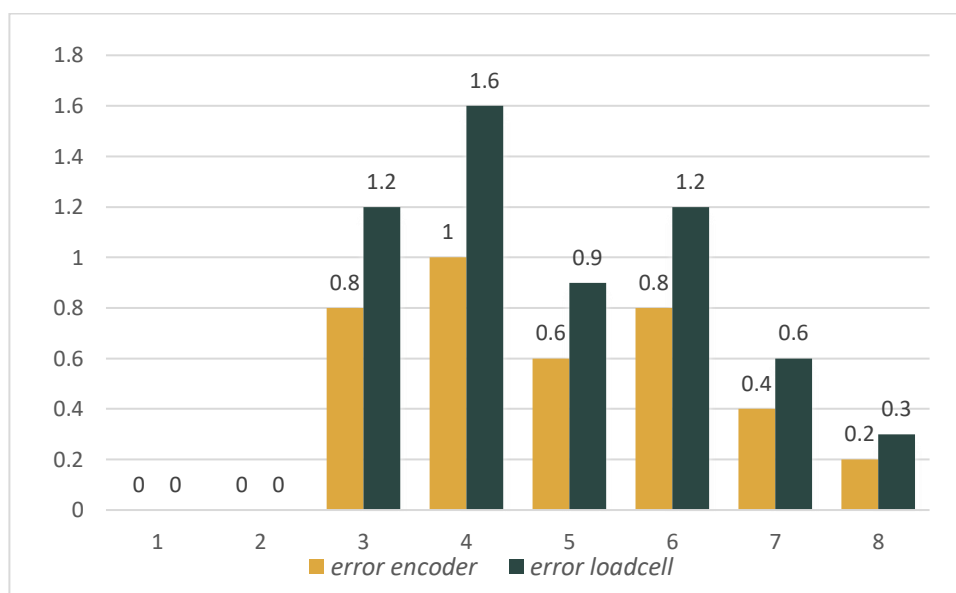
Spesifikasi	Z6FD1	Z6FC3	Z6FC6
Jumlah interval verifikasi *load cell* (n_{LC})	1000	3000	6000
Kapasitas maksimal (E_{max}), kg	5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000	10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000	20; 30; 50; 100; 200;
Interval verifikasi *load cell* minimal (V_{min}), % E_{max}	0,0360	0,009 0,0083 (30 kg)	0,0066
Sensitivitas/*output* nominal (C_n), mV/V	2,0	2,0	2,0
Koefisien temperature pada sinyal nol per 10K (T_{C0}), % C_n	±0.0500	±0,0125 ±0,0116 (30 kg)	±0,0093
Toleransi sensitivitas, %	+1; -0,1	±0,05	±0,05

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah mengumpulkan data dari setiap *spout* atau *filling station* yang ada pada *rotary packer*, diperoleh nilai *error* pada setiap *spout* untuk kedua jenis sensor, yaitu sensor *encoder* dan sensor *load cell*. Selanjutnya, analisis dilakukan terhadap perbandingan nilai data pengukuran pada setiap *spout* untuk kedua jenis sensor terhadap nilai *setpoint* yang telah ditetapkan oleh PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu. Selanjutnya, nilai error dari kedua jenis sensor tersebut dihitung dan direpresentasikan dalam bentuk grafik. Pengambilan data dilakukan langsung pada *rotary packer* dengan pengamatan melalui HMI. Hasil pengukuran dari kedua sensor dapat diamati pada Tabel 2. Berdasarkan data tersebut, nilai error dari sensor loadcell dan sensor encoder dihitung dan ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 2. Data hasil pengukuran *load cell* dan *encoder* pada *rotary packer*.

Spout	Timbangan (*load cell*), kg	*Discharge Position* (*Encoder*)
1	50	312°
2	50	312°
3	50,4	316°
4	50,5	317°
5	50,3	315°
6	50,4	316°
7	50,2	314°
8	49,9	311°

Gambar 4. Hasil perhitungan nilai *error encoder* dan *load cell*.

Dari hasil pengukuran *load cell* dan sensor *encoder* pada *rotary packer*, terlihat bahwa terdapat 8 *spout* yang diukur. Nilai toleransi dari sensor *load cell* adalah 0,5 kg, sementara toleransi pada sensor *encoder* adalah +-5%. Nilai terendah tercatat pada *spout* 8 sebesar 49,90 kg dengan *discharge position* pada 312º. Sementara itu, *spout* 1 dan 2 memiliki nilai timbangan 50 kg dan *discharge position* pada 312º, sesuai dengan nilai yang direncanakan. Nilai timbangan tertinggi tercatat pada *spout* 4 yaitu 50,50 kg dengan *discharge position* pada 317º.

Analisis grafik nilai *error encoder* dan *load cell* menunjukkan variasi nilai *error* pada setiap *spout*, tetapi tidak melebihi nilai toleransi dari kedua sensor tersebut. Nilai toleransi sensor *encoder* adalah +-5% dari nilai *setpoint*, sementara toleransi sensor *load cell* adalah 0,5% dari nilai *setpoint*. *Error* terkecil dari sensor *load cell* adalah 0% pada *spout* 1 dan 2, sementara *error* terbesar terjadi pada *spout* 4 sebesar 1,6%. *Error* terkecil dari sensor *encoder* adalah 0% pada *spout* 1 dan 2, menunjukkan kesesuaian dengan *setpoint* yang diberikan. Error terbesar pada sensor *encoder* tercatat pada *spout* 4 yaitu 1%.

4. Kesimpulan

Sensor *encoder* digunakan untuk mengukur posisi sudut dalam sistem dan memberikan umpan balik mengenai gerakan suatu objek. *Encoder incremental*, jenis yang digunakan dalam *Rotary Packer* PT. Cemindo Gemilang Plant Bengkulu, bekerja dengan menempatkan cakram berputar di antara lampu dan magnet permanen atau transduser.

Ketika cahaya melewati celah pada cakram, magnet atau transduser menghasilkan sinyal keluaran yang dapat diinterpretasikan secara digital. Sementara itu, sensor *load cell* berfungsi mengubah gaya yang diterima menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan distandarisasi. Pada *rotary packer* tersebut, sensor *load cell* dipasang pada setiap *spout* untuk mengukur timbangan semen sesuai dengan nilai *setpoint*. Sensor *load cell* yang digunakan adalah tipe Z6FC6 dengan rentang pengukuran antara 5 Kg hingga 500 Kg. Setelah nilai *setpoint* ditentukan, PLC akan memerintahkan *bag frame* untuk melemparkan semen menuju *check weigher* saat timbangan mencapai +-5% dari posisi 312º pada sensor *encoder* dan nilai timbangan mencapai 50 kg pada sensor *load cell*. Meskipun terdapat sedikit *error*, nilai posisi sudut *discharge bag* tertinggi tercatat pada posisi 317º dengan nilai *error* sebesar 1,6% pada sensor *encoder*, sementara nilai timbangan tertinggi adalah 50,50 kg dengan *error* 1% pada sensor *load cell*. Namun, nilai *error* pada kedua sensor tersebut tidak melebihi batas toleransi yang telah ditetapkan.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: The data of this study is unavailable due to privacy restriction.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

[1] R. B. Pratama, S. Safaruddin, and A. Septian, ‘Prinsip Kerja Sensor Load Cell pada Spout Filling Station Rotary Packer PT. Semen Baturaja’, *Jurnal Multidisipliner Kapalamada*, vol. 1, no. 04, pp. 428–437, Dec. 2022, doi: 10.62668/kapalamada.v1i04.348.

[2] A. P. Widodo, ‘Sistem Kendali dan Operasi Colecting Conveyor dan Timbangan Gravity Roller (di PT. Angkasa Pura I (Persero) Cabang Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado)’, Universitas Sam Ratulangi, 2018.

[3] Y. C. A. Pratama and Safaruddin, ‘Analisis Cara Kerja Sistem Packing Pada Rotary Packer Area Packing & Loading PT. Semen Baturaja Tbk’, *Jurnal Lintas Ilmu*, vol. 1, no. 2, pp. 119–127, 2022.

[4] F. Asadi, ‘Encoder and Decoder’, in *Digital Circuits Laboratory Manual. Synthesis Lectures on Electrical Engineering.*, Springer, 2024, pp. 105–124. doi: 10.1007/978-3-031-41516-6_5.

[5] C. Kalamani, R. Murugasami, S. Usha, and S. Saravanakumar, ‘Design of encoder and decoder using reversible logic gates’, *Measurement: Sensors*, vol. 31, p. 100989, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.measen.2023.100989.

[6] D. Y. Widagdo, ‘Recording System of Weighing Results Using Load Cell Sensors Through a Database Based on Arduino Uno’, *Jurnal Jartel: Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 10, no. 1, pp. 13–19, Mar. 2020, doi: 10.33795/jartel.v10i1.161.

[7] M. R. A. Zutama, D. A. Nugraha, and Safaruddin, ‘Sensor Loadcell pada Belt Scale di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk’, *Jurnal Vokasi*, vol. 1, no. 1, 2022.

[8] Y. T. Handiko, ‘Rancang Bangun Model Timbangan Digital Menggunakan Sensor Load Cell dan Pencatatan Hasil Timbangan Berbasis IoT’, Universitas Lampung, 2022.

[9] O. S. Al-Dahiree *et al.*, ‘Design and Shape Optimization of Strain Gauge Load Cell for Axial Force Measurement for Test Benches’, *Sensors*, vol. 22, no. 19, p. 7508, Oct. 2022, doi: 10.3390/s22197508.

[10] R. Montoro-Bombú, B. B. Gomes, A. Santos, and L. Rama, ‘Validity and Reliability of a Load Cell Sensor-Based Device for Assessment of the Isometric Mid-Thigh Pull Test’, *Sensors*, vol. 23, no. 13, p. 5832, Jun. 2023, doi: 10.3390/s23135832.

[11] D. S. Triyadi, Safaruddin, and A. Septian, ‘Peforma Load Cell Setiap Spout Filling Stasion Pada Rotary Packer di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk’, *Jurnal Multidisipliner Kapalamada*, vol. 1, no. 04, pp. 438–446, Dec. 2022, doi: 10.62668/kapalamada.v1i04.349.

[12] Agus Wibowo and Lawrence Adi Supriyono, ‘Analisis Pemakaian Sensor Loadcell dalam Perhitungan Berat Benda Padat dan Cair Berbasis Microcontroller’, *Elkom : Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 1–5, Jul. 2019, doi: 10.51903/elkom.v12i1.102.

[13] A. N. Ulfa and H. N. Isnianto, ‘Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Mikrokontroler dan IoT untuk Peternakan Domba’, *Jurnal Otomasi Kontrol*